

No title available.

Patent Number: DE19753696
Publication date: 1999-06-17
Inventor(s): NEFF WILLI DR (BE); LEBERT RAINER DR (BE); BERGMANN KLAUS DR (DE);
SCHRIEVER GUIDO (DE)
Applicant(s):: FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)
Requested Patent: ☐ DE19753696
Application
Number: DE19971053696 19971203
Priority Number
(s): DE19971053696 19971203
IPC Classification: H05G2/00 ; H05H1/48
EC Classification: H05G2/00, H05H1/48
Equivalents: ☐ EP1036488 (WO9929145), ☐ WO9929145

Abstract

The invention relates to a method and a device for producing extreme ultraviolet (EUV) and soft x-rays from a gaseous discharge. The inventive device is characterised in that it comprises at least two electrodes defining a symmetry axis and having each an opening in alignment. An intermediate chamber is provided between the anode and the cathode, where gas inflation is substantially homogeneous in space. The electrodes are formed in such a way that the gaseous discharge takes place only in a volume delimited by the aligned openings. Current pulses are chosen so as to create, on the symmetry axis, a very hot and dense plasma channel which constitutes a plasma source for extreme ultraviolet and/or soft x-rays. The inventive device is particularly useful in EUV-projection lithography in a spectral range around 13 nm.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

Di



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 53 696 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 05 G 2/00
H 05 H 1/48

②1 Aktenzeichen: 197 53 696.4
②2 Anmeldetag: 3. 12. 97
④3 Offenlegungstag: 17. 6. 99

DE 197 53 696 A 1

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦2 Erfinder:
Lebert, Rainer, Dr., Kelmis, BE; Bergmann, Klaus,
Dr., 52134 Herzogenrath, DE; Schriever, Guido,
52066 Aachen, DE; Neff, Willi, Dr., Kelmis, BE

⑤6 Entgegenhaltungen:
US 54 99 282
US 47 71 447
EP 03 87 838 A2
BOEUF, J.P.; PITCHFORD, L.C.: Pseudospark
Discharges Via Computer Simulation. In: IEEE
Transactions on Plasma Science, Vol. 19 (2),
April 1991, S. 286-296;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolettstrahlung und weicher Röntgenstrahlung aus
einer Gasentladung

DE 197 53 696 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett- und Röntgenstrahlung wobei das die Strahlung emittierende Medium ein Plasma ist. Bevorzugtes Anwendungsgebiet sind Anwendungen, bei denen Röntgenlicht im Wellenlängenbereich um 10 nm erforderlich sind, wie es zum Beispiel bei der EUV-Projektionslithographie für den Spektralbereich um 13 nm der Fall ist, wo kompakte, preisgünstige und langlebige Röntgenlichtquellen erforderlich sind. Ein weiteres Anwendungsfeld sind Röntgenanalyseverfahren wie die Photoelektronenspektroskopie oder die Röntgenfluoreszenzanalyse, die den Spektralbereich der weichen Röntgenstrahlung nutzen, und welche mit der Verfügbarkeit einer kompakten Quelle im Labormaßstab realisiert werden können. Ferner können Verfahren und Vorrichtung zur Charakterisierung von Röntgenoptiken oder Röntgendetektoren eingesetzt werden.

Stand der Technik

Der Einsatz eines Plasmas als Quelle für Röntgenlicht ist bekannt. Beispielsweise werden die Plasmakokusentladung, die Z-Pinch-Entladung, die Kapillarentladung oder der Gas-Puff hierzu eingesetzt. So wird bei der Z-Pinch-Entladung zwischen zwei flächig ausgeführten Elektroden ein Plasma erzeugt, wobei über die Wahl der Spannungspulse zwei Betriebsweisen zur Verfügung stehen. Zum einen ist ein Betrieb möglich, bei welcher die Gasentladung auf der Oberfläche des Isolators zündet. Dies führt zu einem erheblichen Verschleiß des Isolators. Zum anderen können die Strompulse auch so gewählt werden, daß die Gasentladung im ganzen zur Verfügung stehenden und durch den Isolator begrenzten Volumen zwischen Anode und Kathode zündet. Bei Beginn der Plasmazündung sind damit auch ein oder mehrere feine Plasmakanäle in der Nähe des Isolators und der Elektroden anzutreffen, wodurch diese einen Abbrand erfahren. Durch das Eigenmagnetfeld des dann fließenden Stromes kommt es zum Zusammenschnüren der Plasmakanäle zu einem einzigen Plasmakanal (Pinch-Effekt) entlang der Symmetrieachse der Elektrodenanordnung. Beim Erlöschen des Stromes breitet sich das Plasma wieder bis zum Isolator aus was ebenfalls mit einem Abbrand des Isolatormaterials verbunden ist. Ein weiterer Nachteil der Z-Pinch-Entladung ist ferner der Umstand, daß für die Bildung eines effektiv emittierenden Plasmas der Selbstdurchbruchbetrieb ungeeignet ist. Üblicherweise wird der Z-Pinch nur im Einzelpulsbetrieb eingesetzt, und dementsprechend ist die Ausbeute an Röntgenlicht gering. Stand der Technik für die Repetitionsrate, d. h. die Rate für den Auf- und Abbau des röntgenlichtemittierenden Plasmas, sind typischerweise maximal 20 Pulse pro Sekunde. Wird der Gas-Puff zur Erzeugung eines röntgenlichtemittierenden Plasmas eingesetzt, so wird über eine geeignet positionierte Öffnung in Isolator oder Elektroden schubweise Gas in den Zwischenraum zwischen Anode und Kathode eingelassen. Der Plasmaaufbau erfolgt dann mit dem eingelassenen Gas zwischen den Elektroden. Gas-Puff, Z-Pinch und auch die Plasmakokusentladung werden zudem bei hohen Entladeströmen (> 100 kA) und im Bereich einiger Kilojoule für die elektrisch gespeicherte Energie betrieben. Sie sind daher für ein Plasma optimiert, welches Röntgenlicht im Spektralbereich einiger Nanometer (harte Röntgenstrahlung) emittiert.

Für langwelligere Strahlung im Bereich von ca. 10 nm bis ca. 50 nm werden Gasentladungen mit kleinen Strömen

bzw. einer kleineren pro Puls umgesetzten Energie eingesetzt. Dabei kommt zum Beispiel die Kapillarentladung zum Einsatz, wobei sich die gleichen Nachteile hinsichtlich des Verschleißes wie oben beschrieben ergeben. Als eine Ausführungsvariante sei hier eine Kapillarentladung genannt, bei der der Isolator zwingend für die Zündung des Plasmas gebraucht wird. Kennzeichnend bei diesem Entladungstyp ist das Verdampfen von Isolatormaterial welches nachfolgend in den Plasmazustand überführt wird. Der Abbrand des Isolators ist damit ebenfalls hoch. Alle genannten Entladungstypen werden dabei mit einem Arbeitspunkt auf dem rechten Ast der Paschenkurve betrieben, wobei durch den Pinch-Effekt gleichzeitig das Plasma aufgeheizt wird um die erforderliche Temperatur für die Röntgenlichtemission zu erreichen.

Nach dem Stand der Technik ist der Einsatz von Pseudofunkenschaltern bekannt, der zum Beispiel in der Ausführungsvariante als Mehrkanalpseudofunkenschalter in der DE 39 42 307 A1 offenbart ist. Diese zeichnen sich u. a. dadurch aus, daß das Plasma nicht in Kontakt mit Isolator oder Elektrodenfläche gezündet wird, und daß daher deren Lebensdauer hoch ist. Ebenfalls vorteilhaft ist deren hohe Repetitionsrate. Nachteilig bei diesen Schaltern ist jedoch, daß sie hinsichtlich der Gasart, des Gasdrucks und der Strompulse so betrieben werden, daß sich bei ihnen ein Plasma mit nur geringer Energiedichte ausbildet welches eine effektive Emission von EUV- oder Röntgenstrahlung ausschließt. Für die Emission von EUV- oder Röntgenstrahlung wäre daher eine Vorrichtung vorteilhaft, welche die Vorzüge von Z-Pinch-Entladung mit den Vorzügen des Pseudofunkenschalters kombiniert.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren für die Erzeugung von Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung bereitzustellen, bei welchen der Isolator keinem Verschleiß ausgesetzt ist, und bei welchen Repetitionsraten bis in den Kilohertzbereich möglich sind, und bei denen bei Wahl geeigneter Parameter für Elektrodengeometrie, Gasdruck und -art sowie für die Strompulse ein Plasma mit hinreichend hoher Energiedichte bzw. Temperatur erzeugt wird, so daß es zu einer effektiven Emission von weicher Röntgenstrahlung kommt.

Die Lösung der vorrichtungsgemäßen Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 gegebenen Merkmale gelöst, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen in den Unteransprüchen 2-13 angegeben sind. Die verfahrensmäßige Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens werden in den Ansprüchen 15-25 angegeben.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, daß die o.g. Nachteile für gasentladungserzeugte Röntgenquellen vermieden werden können wenn über den Einsatz einer geeigneten Elektrodengeometrie sichergestellt wird, daß sich nur fern vom Isolator Plasma befindet. Dies ist möglich, wenn dem System unter Ausnutzung einer geeignet gewählten Elektrodengeometrie, wie zum Beispiel einer Hohlkathode mit einer Hohlanode, eine vorgebbare Vorzugsrichtung aufgeprägt wird. Diese Vorzugsrichtung stellt im Sinne des Hittorfschen Umwegeteffekts sicher, daß sich die Gasentladung ausschließlich entlang dieser Vorzugsrichtung fern vom Isolator ausbildet. Eine Elektrodenkonfiguration, die diese Anforderungen erfüllt, ist zum Beispiel diejenige des Einkanalpseudofunkenschalters, welche in Fig. 1 dargestellt ist. Hierbei müssen die Elektroden so gestaltet sein, daß sich zwischen ihnen ein gasgefüllter Zwischenraum (7) befindet, jede Elektrode (1, 2) eine fluchtende Öffnung (3, 4) aufweist

durch welche eine Symmetrieachse (5) definiert wird, und die Elektroden zylindersymmetrisch bzgl. obiger Symmetrieachse (5) sind. Die Symmetrieachse ist dann die oben genannte Vorzugsrichtung. Die Öffnungen der Elektroden haben dabei Durchmesser im Millimeterbereich. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Isolator (6), welcher den Zwischenraum zwischen Anode und Kathode vom Außenbereich mit höherem Gasdruck trennt. Vorteilhaft ist es dabei, wenn der Isolator als Stapelung von Isolatoren und Metallscheiben ausgeführt ist, da dadurch die Spannungsfestigkeit verbessert wird. Der Elektrodenabstand liegt dabei im Millimeter- bis Zentimeterbereich. Der Gasdruck im Elektrodenzwischenraum liegt im Bereich von einigen Pascal bis einigen zehn Pascal. Der Arbeitspunkt wird dabei so gewählt, daß das Produkt aus Elektrodenabstand und Entladungsdruck auf dem linken Ast der Paschenkurve liegt. Die Zündspannung steigt in diesem Fall mit sinkendem Gasdruck bei fester Elektrodengeometrie. Allgemein hängt die Zündspannung von der Elektrodengeometrie, dem Durchmesser der Öffnungen in den Elektroden und dem gewählten Arbeitsgasdruck ab. Nach Anlegen einer Spannung an die Elektroden, welche vorteilhafterweise im Bereich von einigen Kilovolt bis einigen zehn Kilovolt liegt, wird ein elektrisches Feld im Elektrodenzwischenraum aufgebaut, welches dort in guter Näherung parallel zur Symmetrieachse verläuft. Wenn die Elektroden als Hohlelektroden ausgestaltet sind, ragen die elektrischen Feldlinien im Bereich der Öffnungen auch in die Hohlelektroden hinein, und ganz allgemein in die an die Zwischenraumbewandungen angrenzenden Raumbereiche.

Bei genügend hohen Spannungen kommt es durch die bei Gasentladungen allgemein bekannten Mechanismen der Vervielfachung von Ladungsträgern zu einer Gasentladung. Die Zündung erfolgt dabei entweder im Selbstdurchbruchbetrieb über bereits vorhandene Ladungsträger die zum Beispiel über die kosmische Höhenstrahlung erzeugt werden können, oder aber bei getriggertem Betrieb durch Injektion von Ladungsträgern (Plasma oder Elektronen) in den an die Kathode angrenzenden Raumbereich. Durch die beschriebene Elektrodengeometrie kann sich die Gasentladung nicht auf dem kleinsten Weg zwischen den Elektroden ausbreiten, weil in diesem Fall die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger größer als der Elektrodenabstand ist. Die Gasentladung sucht sich dann einen längeren Weg, da nur bei ausreichender Entladungstrecke genügend viele ionisierende Stöße zur Aufrechterhaltung der Entladung möglich sind. Dieser längere Weg ist vorliegend durch die Öffnungen vorgebar, über welche die Symmetrieachse definiert ist. Dies hat zur Folge, daß sich nur ein einziger Plasmakanal ausbildet, der die oben definierte Symmetrieachse (5) besitzt und dessen seitliche Ausdehnung durch die Bohrlochbegrenzungen bestimmt wird. Dies wird auch durch Computersimulationen theoretisch vorhergesagt (J. B. Bouef, L. C. Pitchford, Pseudospark discharge via Computer simulation, IEEE Trans. Plas. Sc., Vol. 19(2), 1991). Bei einer Gasentladung der dargestellten Geometrie auf dem linken Ast der Paschenkurve erfolgt der Aufbau des Plasmakanals nicht wie bei einer Streamerentladung über eine einzige kurzzeitige Elektronenlawine, sondern mehrstufig über Sekundärladungsprozesse. Dadurch ist die Plasmaverteilung bereits in der Startphase in hohem Maße zylindersymmetrisch, ohne daß hierfür beispielsweise eine Isolatorwand erforderlich wäre.

Dies hat zur Folge, daß auf zusätzliche Vorrichtungen zum Zünden des Plasmas bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung verzichtet werden kann, da die Gasentladung im Selbstdurchbruch erfolgen kann. Mit einer zusätzlichen Zündvorrichtung kann aber erreicht werden, daß die Rönt-

genpulse zeitlich präzise ausgelöst werden, falls die Anwendung dies erfordert.

Bei Vorhandensein eines Plasmas kommt es zum Fließen eines gepulsten Stromes, wobei der Strom von einer geeigneten Stromquelle zur Verfügung gestellt werden muß. Durch eine geeignete Wahl von Amplitude und Periodendauer der Strompulse kann die für die Röntgenlichtemission geeignete Temperatur des Plasmas eingestellt werden, welche typischerweise im fünfstelligen Kelvinbereich liegt. Das Gas oder Gasgemisch ist so zu wählen, daß es im Plasmazustand charakteristische Strahlung im weichen Röntgenwellenlängenbereich emittiert, was bei Gasen insbesondere für Kernladungszahlen $Z \geq 3$ der Fall ist. Die verwendeten Strompulse weisen vorteilhafterweise Amplituden mit zweistelliger Kiloamperezahl und Periodendauern im zwei- bis dreistelligen Nanosekundenbereich auf. Insbesondere bei diesen Parametern für die Strompulse wird das Plasma im Elektrodenzwischenraum entlang der Symmetrieachse hinreichend komprimiert und dadurch aufgeheizt, daß es für die erforderliche Temperatur für die Röntgenlichtemission erreicht.

Das Zurverfügungstellen der Strompulse erfolgt dabei durch eine Integration der Elektrodenkonfiguration in einen elektrischen Entladekreis, welcher vorteilhafterweise eine Kondensatorbank mit kapazitiv gespeicherter Energie aufweist. Dabei kann das Elektrodensystem entweder direkt mit der Kondensatorbank verbunden sein oder sich ein Schaltelement zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank befinden. Die direkte elektrische Verbindung eignet sich zum Beispiel beim Gasentladungsbetrieb im Selbstdurchbruch bei dem bei Erreichen der Zündfeldstärke die Gasentladung selbsttätig zündet. Der Einsatz eines Schaltelements zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank erlaubt es, eine Spannung an das Elektrodensystem anzulegen welche größer als die erforderliche Zündspannung ist. Da die Zündspannung bei gewählten Arbeitspunkt auf dem linken Ast der Paschenkurve mit sinkendem Gasdruck steigt, bedeutet dies, daß man dann bei höheren Gasdrücken arbeiten kann. Dies führt wünschgemäß zu einer höheren Intensität der emittierten Strahlung, da die Intensität quadratisch mit dem Gasdruck skaliert. Auch können Repetitionsraten bis in den Kilohertzbereich erreicht werden, was für viele Anwendungen einen Vorteil gegenüber dem Einzelschußbetrieb bedeutet.

Werden die für den Betrieb der Röntgenquelle erforderlichen Strompulse von einer Kondensatorbank zur Verfügung gestellt, so bildet diese zusammen mit dem Elektrodensystem einen gedämpften elektrischen Schwingkreis, dessen Schwingungsverhalten durch seine Kenngrößen Kapazität, Induktivität und ohmscher Widerstand bestimmt ist. Die oben angegebenen Werte für die Stromamplituden beziehen sich in einem solchen Fall auf die erste Halbwelle des in seiner Stärke oszillierenden und gleichzeitig abnehmenden Stromes.

Ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens sollen die erfindungsgemäße Vorrichtung an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

Fig. 2 zeigt eine Elektrodengeometrie mit der wie beschrieben ohne Isolatorschleif Röntgenlicht aus einer Gasentladung heraus generiert werden kann. Der Abstand der rund ausgeführten Öffnungen (3, 4) beträgt 6 mm bei einem Durchmesser von 5 mm. Zwischen Anode (2) und Kathode (1) befindet sich Sauerstoff bei einem Druck von 10 Pa. Der Arbeitspunkt ist dabei so gewählt, daß das Produkt aus Elektrodenabstand und Entladungsdruck auf dem linken Ast der Paschenkurve liegt. Das aufwendig gestaltete Elektrodensystem ist wie in der Zeichnung zu erkennen direkt mit einem Plattenkondensator verbunden. Der Plasmakanal

bildet sich bei diesem Ausführungsbeispiel ausschließlich im durch und zwischen den Öffnungen (3, 4) definierten Kanal entlang der Symmetrieachse (5) aus. In anderen Raumbereichen zwischen Anode und Kathode, zum Beispiel im Bereich (8), kann sich kein Plasmakanal ausbilden, da dort der für eine Zündung der Gasentladung erforderliche lange Weg nicht vorliegt. Bei einer Ladespannung von 6 kV betrug die Stromamplitude der ersten Halbwelle im hier praktizierten Selbstdurchbruchbetrieb ca. 15 kA bei einer Schwingungsdauer von 730 ns.

Fig. 3 zeigt ein mit einem Gitterspektrographen aufgenommenes Röntgenspektrum bei einer verwendeten Ladespannung von 6 kV. Es treten charakteristische Übergänge von Sauerstoffionen auf, die im Plasmazustand nur noch 3 bis 4 Elektronen besitzen. Dies läßt auf eine Plasmatemperatur von ca. 20 bis 40 eV schließen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen Anode und Kathode ein gasgefüllter Zwischenraum vorgesehen ist, beide Elektroden je eine fluchtende Öffnung aufweisen durch welche eine Symmetrieachse definiert ist, so daß es nach Anlegen einer Spannung an die Elektroden zur Ausbildung eines Plasmakanals entlang der Symmetrieachse kommt und die Strompulse hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart gewählt sind, daß das Plasma Quelle für EUV- und/oder weiche Röntgenstrahlung ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Strompulse eine Periodendauer im zwei- bis dreistelligen Nanosekundenbereich besitzen.
3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strompulse Amplituden im zweistelligen Kiloamperebereich aufweisen.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma eine Temperatur im sechsstelligen Kelvinbereich besitzt.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma Quelle für Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner 50 nm ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Öffnungen im Millimeterbereich liegt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmazündung durch Injektion von Plasma oder Ladungsträgern in dem an die Kathode angrenzenden Raumbereich erfolgt.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand der Elektroden im Millimeter- bis Zentimeterbereich liegt.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Isolator zwischen Anode und Kathode als Stapel von Isolatoren und Metallscheiben ausgestaltet ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Strompulse von einer sich schnell entladenden Kondensatorbank zur Verfügung gestellt werden.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Elektrodensystem direkt mit einer Kondensatorbank verbunden ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank ein Schaltelement befindet.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 12, da-

durch gekennzeichnet, daß sich zwischen den Elektroden ein oder mehrere Gase mit einer Kernladungszahl $Z \geq 3$ befinden.

14. Verfahren zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenstrahlung von einem Plasma, welches nach Anlegen einer Spannung an zwei mit je einer fluchtenden Öffnung versehenen und mit einem gasgefüllten Zwischenraum bestanden Elektroden entlang der durch die Öffnungen definierten Symmetrieachse vorliegt, emittiert wird, wobei die Strompulse hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart gewählt werden, daß das Plasma EUV- und/oder weiches Röntgenlicht emittiert.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß Strompulse mit einer Periodendauer im zwei- bis dreistelligen Nanosekundenbereich gewählt werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 15, dadurch gekennzeichnet, daß Strompulse mit Amplituden im zweistelligen Kiloamperebereich gewählt werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma eine Temperatur im sechsstelligen Kelvinbereich besitzt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 17, dadurch gekennzeichnet, daß Gasdrücke im Bereich 1 Pa bis einigen 10 Pa gewählt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma Strahlung mit Wellenlängen kleiner 50 nm emittiert.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 19, dadurch gekennzeichnet, daß als Gase im Zwischenraum solche mit einer Kernladungszahl $Z \geq 3$ gewählt werden.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma durch Injektion von Plasma oder Ladungsträgern in dem an die Kathode angrenzenden Raumbereich gezündet wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 21, dadurch gekennzeichnet, daß der bei Vorhandensein eines Plasmas fließende Strom durch die schnelle Entladung kapazitiv gespeicherter Energie bereitgestellt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die schnelle Entladung dadurch erreicht wird, daß das Elektrodensystem direkt mit einer Kondensatorbank verbunden wird.

24. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß die schnelle Entladung dadurch erreicht wird, daß ein zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank befindliches Schaltelement geschlossen wird.

25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß an die Elektroden eine Spannung angelegt wird welche größer als die Zündspannung der Gasentladung ist.

Hierzu 3 Seiten) Zeichnungen

- Leerseite -

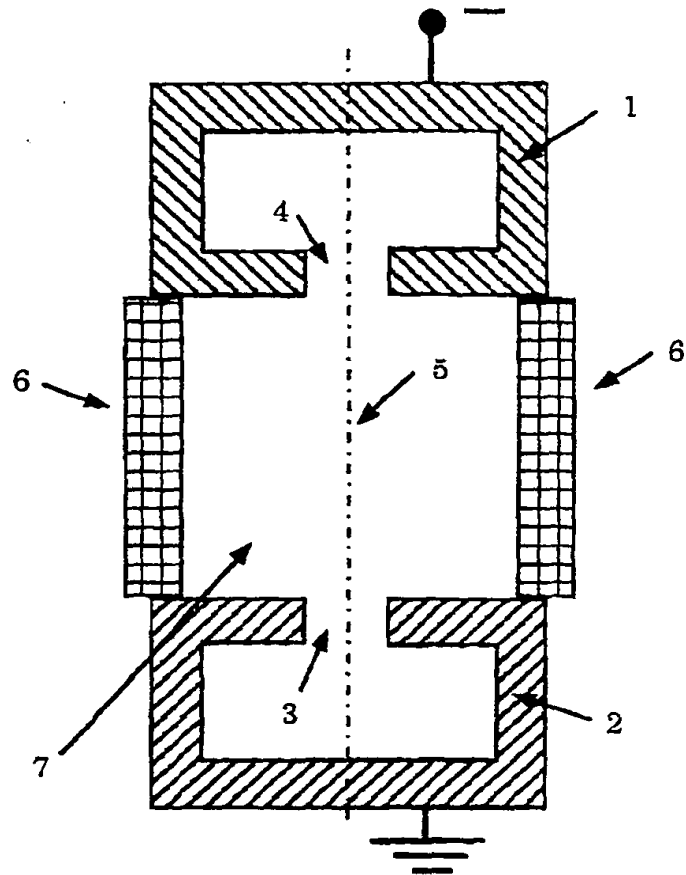


Fig. 1 : Prinzipbild für Elektrodengeometrie

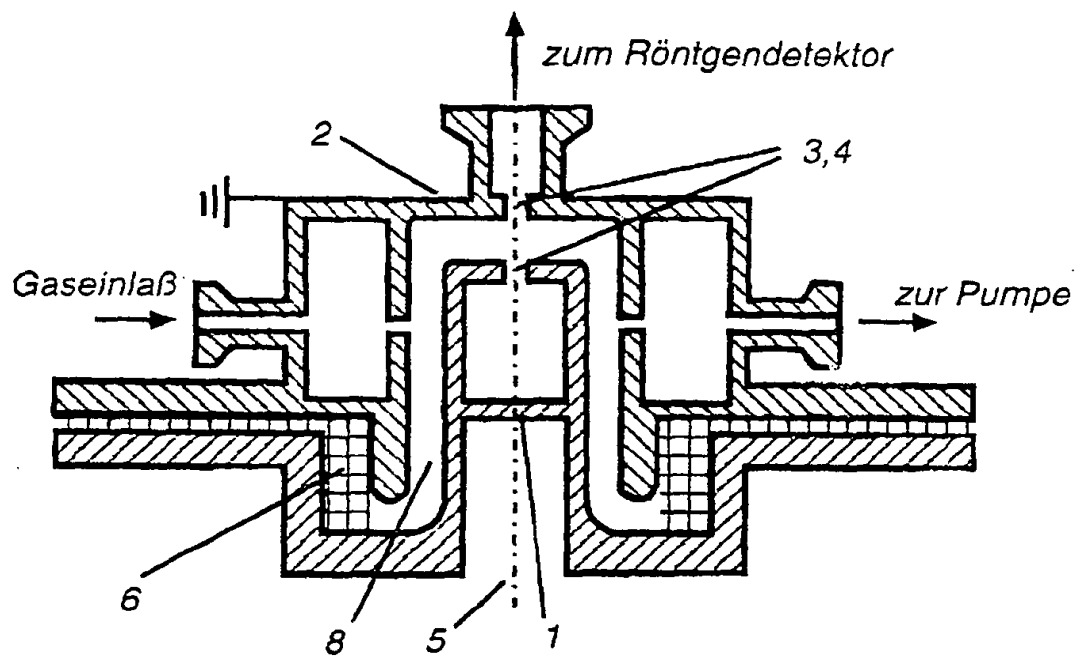


Fig. 2 : Schemabild des Elektrodensystems

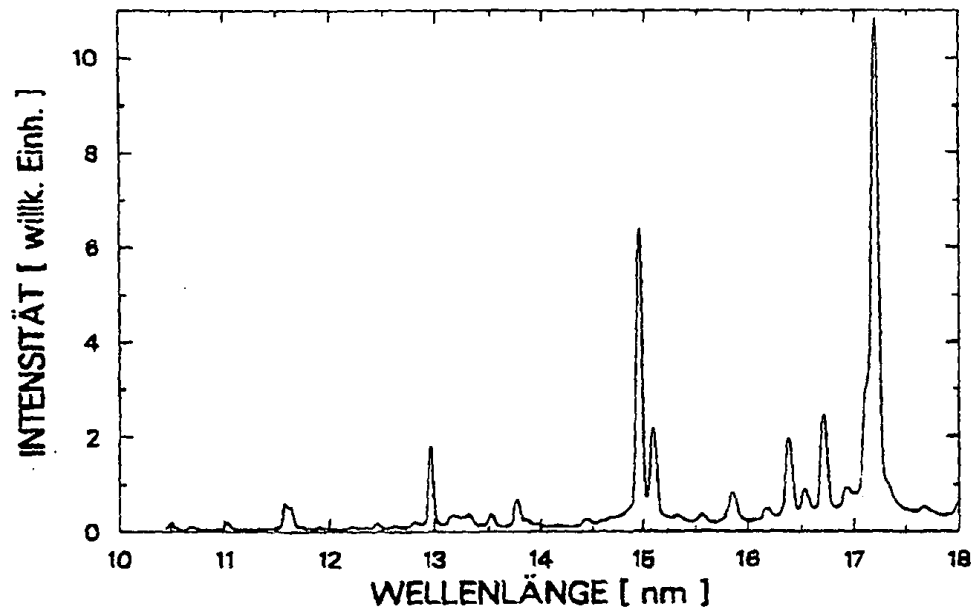


Fig. 3 : Röntgenspektrum